

10/53997  
PCT/DE03/05867

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DE 03/3867



REC'D 06 FEB 2004

WIPO PCT

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**Aktenzeichen:** 102 61 238.2

**Anmeldetag:** 20. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich/DE

**Bezeichnung:** Schichtenfolge

**IPC:** H 01 L 47/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. Dezember 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident  
Im Auftrag

Agurke



## B e s c h r e i b u n g Schichtenfolge

Die Erfindung betrifft eine Schichtenfolge, insbesondere eine Schichtenfolge für eine Gunn-Diode oder einen Gunn-Oszillator.

Der Gunn-Effekt betrifft eine Erscheinung, bei der eine konstante, relativ hohe elektrische Feldstärke (elektrische Feldstärken über 2000V/cm) an einem n-dotierten Galliumarsenidkristall schnelle Stromschwankungen verursacht. Es zeigt sich, daß bei sehr kurzen Kristallen diese Stromfluktuationen in zusammenhängende Schwingungen übergehen, deren Frequenzen durch die Länge der Kristalle festgelegt sind und im Mikrowellenbereich liegen. Auch in anderen halbleitenden III-V-Verbindungen, wie z. B. n-dotiertem Indiumphosphid, entstehen infolge des Effektes Mikrowellen, wenn die elektrische Feldstärke in ihnen einen bei einigen tausend V/cm liegenden kritischen Wert überschreitet. Der Effekt tritt allgemein in III/V-Halbleitern auf, deren Energiebänder relative Maxima und Minima in einem nicht zu großen energetischen Abstand haben, so daß heiße Elektronen leicht in höherliegende Bänder gelangen. Haben sie dort eine kleinere Beweglichkeit, so gehört zur größeren Feldstärke eine kleinere Stromstärke, das heißt, es liegt ein negativer Widerstand vor, der Voraussetzung für eine Schwingungserzeugung und Verstärkung ist. Der Gunn-Effekt wird im sogenannten Gunn-Oszillator zur Mikrowellenenerzeugung ausgenutzt.

Ab einer bestimmten Feldstärke entstehen somit an einem Elektronen-Emitter sogenannte spontane Dipoldomänen, die mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch den Halbleiter laufen und an einem Kollektor enden. Erst 5 wenn die Domäne am Kollektor angekommen ist, wird am Emitter eine weitere Domäne gebildet. Dem Emitter kommt somit entscheidende Bedeutung bei der Ausbildung der Domänen zu. Am Kollektor werden die Ladungsträger eingesammelt.

10 Eine Gunn-Diode kann typischerweise einen Emitter mit einer zum Kollektor gerichteten AlGaAs-Schicht aufweisen, die dazu dient einen Potentialsprung für die emittierenden Elektronen zu schaffen und sie somit energetisch relativ zur aktiven Diodenschicht anzuheben.

W 15 Aus der Druckschrift Greenwald et al. (Greenwald, Z. Woodard, D. W., Calawa, A.R., Eastman, L. F. (1988). The effect of a high energy injection on the performance of millimeter wafe gunn oscillators. Solid-State Electronics 31, 1211-1214) ist eine Gunn-Diode bekannt, welche eine Schichtenfolge mit einer AlGaAs-Schicht von konstantem Aluminium-Gehalt von 23 % aufweist.

20 25 Aus den Druckschriften US 4,801,982 sowie Hutchinson et al. (Hutchinson, S., J. Stephens, M. Carr and M. J. Kelly. Implant isolation scheme for current confinement in graded-gap Gunn diodes, IEEE Electronics Letters, 32(9), 851-852, 1996) ist bekannt, eine AlGaAs-Schicht mit veränderlichem, das heißt in Richtung des Kollektors, linear ansteigendem Aluminium-Gehalt von Null auf bis zu 30 % anzuordnen. Eine solche AlGaAs-Schicht wird

im englischen Sprachgebrauch als graded layer, und im weiteren als gegradierte Schicht bezeichnet. Die gegradierte Schicht kann als stufenloser Übergang zu Aluminium-Gehalten hoher Konzentration ausgebildet sein. Hierdurch wird vorteilhaft unerwünschte Elektronenreflektion minimiert und Elektronen mit Energien passend zum Energieband mit niedrigerer Elektronenbeweglichkeit injiziert.

Die aus dem Stand der Technik bekannten Schichtenfolgen weisen bei hohen Herstellungs- und/oder Einsatztemperaturen der Gunn-Diode die nachteilige Eigenschaft auf, daß die gewollte Potentialbarriere der AlGaAs-Schicht unwirksam, das heißt elektrisch inaktiv ist. Dies wird insbesondere bei niedrigen Eingangsspannungen deutlich, da dann bereits ein linearer Anstieg des Stromes als Funktion der Spannung auftritt.

Aufgabe der Erfindung ist daher, eine Schichtenfolge bereit zu stellen, welche eine Strom-Spannungs-Kennlinie ohne die im Stand der Technik genannten Nachteile liefert.

Die Aufgabe wird durch eine Schichtenfolge gemäß Hauptanspruch und durch ein Verfahren gemäß Nebenanspruch gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den darauf jeweils rückbezogenen Patentansprüchen.

Die Schichtenfolge umfaßt eine Abfolge aufeinander angeordneter Schichten mit

- einer ersten hochdotierten  $n_d$ -GaAs-Schicht, einer auf der ersten hochdotierten  $n_d$ -GaAs-Schicht angeordneten gegradierten AlGaAs-Schicht, wobei die Aluminium-

Konzentration dieser Schicht von der Grenzfläche zur ersten hochdotierten  $n_d$ -GaAs-Schicht ausgehend in Richtung der gegenüberliegenden Grenzfläche der Al-GaAs-Schicht abnimmt, und einer zweiten hochdotierten 5  $n^+$ -Schicht. An mindestens einer Grenzfläche der Al-GaAs-Schicht zu einer der hochdotierten Schichten ist eine undotierte Zwischenschicht angeordnet.

Die AlGaAs-Schicht und die hochdotierte  $n^+$ -Schicht stellen funktional den Emitter einer Gunn-Diode bzw. 10 eines Gunn-Oszillators dar. Die am Emitter angrenzende hochdotierte  $n_d$ -GaAs-Schicht dient der Feinabstimmung des Energieniveaus der Dipoldomänen, die in Richtung eines Kollektors erzeugt werden.

15 Die undotierte Zwischenschicht besteht vorzugsweise ebenfalls aus GaAs.

Eine solche Zwischenschicht bewirkt vorteilhaft, daß die Strom-Spannungs-Kennlinie ein ausgeprägtes nichtlineares Verhalten, das heißt Schottky-Typ-artiges Verhalten bei kleinen Spannungen aufweist.

20 Das Ausgangsmaterial der  $n^+$  dotierten, Elektronen emittierenden Schicht ist vorteilhaft ebenfalls GaAs.

25 In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist die AlGaAs-Schicht an beiden Grenzflächen zu den angrenzenden hochdotierten Schichten, das heißt sowohl zur angrenzenden  $n^+$  dotierten, Elektronen emittierenden Schicht als auch zur angrenzenden hochdotierten  $n_d$ -GaAs-Schicht, eine solche undotierte Zwischenschicht aus GaAs auf. Dadurch wird eine weitere Verbesserung

der Strom-Spannungs-Kennlinie in der Weise erzielt, daß diese Schicht sowohl von der Emitterseite wie auch von der Kollektorseite der gegradeten Schicht eine definierte elektronische Struktur aufweist.

5 Eine solche Schichtenfolge dient als Ausgangsschichtenfolge für Gunn-Dioden und Gunn-Oszillatoren. Dann schließen sich an die hochdotierte  $n_d$ -GaAs-Schicht weitere Schichten für derartige elektronische Bauelemente an.

10 An das von der Elektronen emittierenden Schicht gegenüberliegende Ende der hochdotierten  $n_d$ -GaAs-Schicht, sind als solche weitere Schichten für derartige elektronische Bauelemente, insbesondere eine niedrig dotierte  $n^-$ -GaAs-Schicht, als eigentliche den Gunn-Effekt bildende Schicht sowie eine hieran anschließende weitere hochdotierte  $n^+$ -Schicht als Kollektor bildende Schicht vorgesehen. Die Kollektorschicht kann insbesondere ebenfalls aus GaAs bestehen.

20 Als Dotierstoff für die Schichten kommt insbesondere Silizium aber auch Tellur in Frage. Diese Elemente bewirken vorteilhaft reine Elektronenleitfähigkeiten.

25 Das Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Schichtenfolge umfaßt den Schritt, daß auf eine hochdotierte  $n_d$ -GaAs-Schicht eine undotierte GaAs-Schicht aufgebracht und bei geeigneten Temperaturen epitaxiert wird. Auf diese undotierte Zwischenschicht wird eine AlGaAs-Schicht mit einer veränderlichen Aluminium-Konzentration angeordnet. Die Konzentration sinkt stufenlos ausgehend von der GaAs-Schicht von einem Höchst-

wert, z. B. 30 % bis auf Null % ab. Auf der AlGaAs-Schicht kann sodann eine weitere undotierte GaAs-Schicht oder aber direkt eine hochdotierte n<sup>+</sup>-Schicht angeordnet werden. Die zweite undotierte GaAs-Schicht ist also optional.

Es ist aber genauso der entgegengesetzte Verfahrensablauf, beginnend mit einer hochdotierten n<sup>+</sup>-Schicht aus GaAs, ausführbar.

Es wird somit zumindest eine undotierte GaAs-Schicht an mindestens einer der Grenzflächen der AlGaAs-Schicht zu der oder den hochdotierten, insbesondere zu hochdotierten GaAs-Schichten, angeordnet und bei geeigneter Temperatur epitaxiert.

Selbstverständlich kann auch an beiden Grenzflächen der AlGaAs-Schicht zu den hochdotierten Schichten eine GaAs-Schicht als Zwischenschicht aufgebracht und bei geeigneter Temperatur epitaxiert werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren bewirkt vorteilhaft, daß während der gewählten Temperaturen von ca. 600 °C, welche für das epitaktische Aufwachsen von GaAs-Schichten vorteilhaft sind, keine Dotieratome in die AlGaAs-Schicht eindiffundieren bzw. segregieren. Die AlGaAs-Schicht wird auf diese Weise vor Dotieratomen, z. B. Silizium oder Tellur geschützt. Diese GaAs-Schichten besitzen somit die Funktion von Diffusions- bzw. Segregationsstoppschichten für angrenzende Dotieratome hochdotierter Bereiche in der Schichtenfolge. Eine GaAs-Schicht als Diffusions- bzw. Segregationsstoppschicht bewirkt, daß die Schichtenfolge unabhängig von der Tem-

peratur hergestellt werden kann. Das hat zur Folge, daß die Schichtenfolge bei einer für GaAs idealen Wachstumstemperatur von ca. 600°C hergestellt werden kann. Dies hat zusätzlich den Vorteil, daß mögliche sehr starke Erhitzungen des Bauelementes auch nach der Fertigstellung und während der Herstellung zu keiner temperaturabhängigen Degradation des Bauelementes führen.

5

Im Folgenden wird die Erfindung an Hand zweier Ausführungsbeispiele und der beigefügten Figuren näher erläutert.

10

Figur 1 zeigt in der Übersicht drei Schichtenfolgen A-C, mit gar keiner (Schichtenfolge A: Stand der Technik) einer (Schichtenfolge B) und zwei zusätzlichen (Schichtenfolge C) GaAs-Schichten als Diffusions- bzw. Segregationsstopsschichten 4, 6 für eine AlGaAs-Schicht 5 als gegradete Schicht. Das Material der einzelnen Schichten der Schichtenfolgen ist jeweils identisch, kann in der Dicke aber variieren, wie in Spalten A-C angegeben.

15

20 In den Schichtenfolgen A-C stellt die hochdotierte n<sup>+</sup>-GaAs-Schicht 1 jeweils einen Kollektor als elektrische Zuleitung der Gunn-Diode dar.

25

Der Kollektor 1, als elektrische Zuleitung, ist als hochdotierte n<sup>+</sup>-GaAs-Schicht mit  $4 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  Silizium dotiert. Hierauf ist eine den Gunn-Effekt ausübende n<sup>-</sup>-GaAs-Schicht 2 mit niedriger Silizium Dotierung ( $10^{15} \text{ cm}^{-3}$  Silizium) als sogenannte 'transit zone' angeordnet. Gegenüberliegend zum Kollektor 1 ist auf Schicht 2

eine  $n_d$ -GaAs-Schicht angeordnet. Die Dotierung dieser Schicht 3 mit Silizium liegt bei  $4 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  für Schichtenfolge A, und jeweils  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  für Schichtenfolge B und C. Auf der 10 Nanometer dicken hochdotierten  $n_d$ -GaAs-Schicht 3, ist eine 50 Nanometer dicke AlGaAs-Schicht 5 aufgebracht, die an der Grenzfläche zur hochdotierten  $n_d$ -GaAs-Schicht 3 eine Aluminium-Konzentration von 30 % aufweist, welche dann stufenlos bis auf Null % abnimmt. Im Falle der Schichtenfolge C wurde 10 eine maximale Aluminium-Konzentration von 32 % in der Schicht 5 gewählt. Auf der AlGaAs-Schicht 5 ist die hochdotierte  $n^+$ -GaAs-Schicht 7 angeordnet, die mit  $4 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  Silizium dotiert wurde.

Zwischen der  $n_d$ -GaAs-Schicht 3 und der AlGaAs-Schicht 5 ist bei den Schichtenfolgen B und C zusätzlich eine un-dotierte GaAs-Schicht 4 als Diffusions- bzw. Segregationsstopschicht angeordnet. Diese Schicht ist im Falle der Schichtenfolge B fünf Nanometer dick. In der Schichtenfolge C ist diese Schicht zehn Nanometer dick. Zusätzlich ist auf der AlGaAs-Schicht 5 in der Schichtenfolge C eine weitere zehn Nanometer dicke un-dotierte GaAs-Schicht 6 auf der AlGaAs-Schicht 6 angeordnet.

Figur 2 zeigt im Vergleich die I-U Kennlinien der Schichtenfolgen A-C in Vorwärts- bzw. Rückwärts Richtung.

Die I-U Kennlinie der Schichtenfolge A, abgeschieden bei einer für GaAs idealen Wachstumstemperatur von 600°C, zeigt keinen Schottky-typischen Anstieg in der I-U Kennlinie. Die Kurve beginnt vielmehr mit einer Ge-

raden, was das Verhalten eines ohmschen Widerstandes andeutet. Die Kurve zeigt darüber hinaus ein symmetrisches Verhalten für positive und negative Versorgungsspannungen.

5 Das Einbringen einer Diffusions- bzw. Segregationsstop-  
schicht 4 unterhalb der gebrädeten AlGaAs-Schicht 5 in  
Schichtenfolge B hingegen zeigt bereits eine deutliche  
Verbesserung der Kennlinie in Bezug auf Nichtlinearität,  
und damit eine gute Funktionsweise der AlGaAs-  
10 Schicht. Es ist deutlich sowohl in Hin- wie auch in  
Rückrichtung eine Schottky-typ-artige Kennlinie zu er-  
kennen.

15 Noch ausgeprägter ist das Verhalten, wenn auf der ge-  
brädeten AlGaAs-Schicht 5 eine weitere Diffusions- bzw.  
Segregationsstoppschicht 6 (Schichtenfolge C) angeordnet  
ist und eine Eindiffusion von Dotieratomen aus hochdo-  
tierten Bereichen in die AlGaAs-Schicht 5 an beiden  
Grenzflächen zu hochdotierten Schichten unterbunden  
wird. Dann ist eine sehr ausgeprägte Schottky-typ-  
20 artige Kennlinie zu erkennen (Kurve C, Fig. 2).

25 Während die Kennlinie für die Schichtenfolge C deutlich die Wirkung eines gebrädeten Emitters zeigt, erkennt man genauso deutlich die Wirkungslosigkeit der AlGaAs-Schicht bei Kurve A. Dieser Effekt beruht auf der Diffusion bzw. Segregation des Dotierstoffs Silizium von Schicht 7 bzw. 3 in die AlGaAs-Schicht 5 und bewirkt, daß die Schicht 5 elektrisch dotiert und in ihrer Wirkung verändert wird.

Es ist im Rahmen der Erfindung denkbar, eine erfundungsgemäße Schichtenfolge für weitere elektronische Bauelemente, die als Injektionsschicht eine Potentialbarriere benötigen, zu verwenden.

- 5 Es sind weitere Schichtenfolgen denkbar, bei denen das Prinzip einen graded layer durch undotierte Zwischenschichten als Diffusions- bzw. Segregationsstoppschichten zu schützen, angewendet werden kann, beispielsweise eine auf InP basierende Schichtenfolge. Bei dieser
- 10 Schichtenfolge wäre an Stelle von GaAs als Material der Schichten 1 bis 7 InP eingesetzt.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Schichtenfolge umfassend eine Abfolge aufeinander angeordneter Schichten mit
  - einer ersten hochdotierten  $n_d$ -GaAs-Schicht (3)
  - einer auf der ersten hochdotierten Schicht (3) angeordneten gegradierten Schicht aus AlGaAs (5), wobei die Aluminium-Konzentration dieser Schicht von der Grenzfläche zur ersten  $n_d$ -GaAs-Schicht (3) ausgehend in Richtung der gegenüberliegenden Grenzfläche der AlGaAs-Schicht (5) abnimmt, und
  - einer zweiten hochdotierten  $n^+$ -Schicht (7), dadurch gekennzeichnet, daß an mindestens einer Grenzfläche der AlGaAs-Schicht (5) zu einer der hochdotierten Schichten (3, 7) eine undotierte Zwischenschicht (4, 6) angeordnet ist.
2. Schichtenfolge nach vorhergehendem Anspruch, gekennzeichnet durch GaAs als Material der undotierten Zwischenschicht (4, 6).
3. Schichtenfolge nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch GaAs als Material für die hochdotierte  $n^+$ -Schicht (7).
4. Schichtenfolge nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

gekennzeichnet durch  
Silizium oder Tellur als Dotierstoff.

5. Schichtenfolge nach einem der vorhergehenden An-  
sprüche,

5 dadurch gekennzeichnet, daß  
die Schichtenfolge (3, 4, 5, 6, 7) auf weiteren  
Schichten (1, 2) angeordnet ist.

10 6. Schichtenfolge nach einem der vorhergehenden An-  
sprüche,

10 dadurch gekennzeichnet, daß  
die Schichtenfolge (3, 4, 5, 6, 7) auf einer  
n<sup>-</sup>-GaAs-Schicht (2) angeordnet ist.

15 7. Schichtenfolge vorhergehendem Anspruch,  
dadurch gekennzeichnet, daß

15 die n<sup>-</sup>-GaAs-Schicht (2) auf einer hochdotierten  
n<sup>+</sup>-Schicht (1), insbesondere aus GaAs angeordnet  
ist.

20 8. Schichtenfolge nach einem der vorhergehenden An-  
sprüche,

20 dadurch gekennzeichnet, daß  
die erste hochdotierte n<sub>d</sub>-GaAs-Schicht (3)  
und/oder die zweite hochdotierte n<sup>+</sup>-Schicht (7)  
mit bis zu 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> Silizium dotiert sind.

25 9. Verfahren zur Herstellung einer Schichtenfolge mit  
den Schritten:

- eine erste hochdotierte GaAs-Schicht (3, 7) wird  
auf einem Substrat angeordnet,
- auf der ersten hochdotierten GaAs-Schicht (3, 7)  
wird eine undotierte GaAs-Schicht (4, 6) ange-

ordnet und bei geeigneten Temperaturen epitaxiert.

- auf der undotierten GaAs-Schicht (4, 6) wird eine gegradierte AlGaAs-Schicht (5) angeordnet.

5 10. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet daß, an mindestens einer weiteren Grenzfläche der AlGaAs-Schicht (5) eine zweite undotierte GaAs-Schicht (4, 6) angeordnet und bei geeigneten Temperaturen epitaxiert wird.

10 15 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß auf der zweiten undotierten GaAs-Schicht (4, 6) eine weitere hochdotierte GaAs-Schicht (3, 7) angeordnet wird.

15 20 25 12. Schichtenfolge, umfassend eine Abfolge aufeinander angeordneter Schichten mit

- einer ersten hochdotierten Schicht,
- einer auf der ersten hochdotierten Schicht angeordneten gegradieten Schicht,
- einer zweiten hochdotierten Schicht, dadurch gekennzeichnet, daß an mindestens einer Grenzfläche der gegradieten Schicht zu einer der hochdotierten Schichten eine undotierte Zwischenschicht angeordnet ist.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Schichtenfolge

Die Erfindung betrifft eine Schichtenfolge für eine Gunn-Diode.

Die Schichtenfolge umfaßt eine Abfolge aufeinander angeordneter Schichten mit

- einer ersten hochdotierten  $n_d$ -GaAs-Schicht (3),
- einer auf der ersten hochdotierten Schicht (3) angeordneten gegradierten Schicht aus AlGaAs (5), wobei die Aluminium-Konzentration dieser Schicht von der Grenzfläche zur ersten  $n_d$ -GaAs-Schicht (3) ausgehend in Richtung der gegenüberliegenden Grenzfläche der AlGaAs-Schicht (5) abnimmt, und
- einer zweiten hochdotierten  $n^+$ -Schicht (7).

An mindestens einer Grenzfläche der AlGaAs-Schicht (5) zu einer der hochdotierten Schichten (3, 7) ist eine undotierte Zwischenschicht (4, 6) als Diffusions- bzw. Segregationsstoppschicht angeordnet, die eine ungewollte Dotierung der gegradierten Schicht unterbindet.

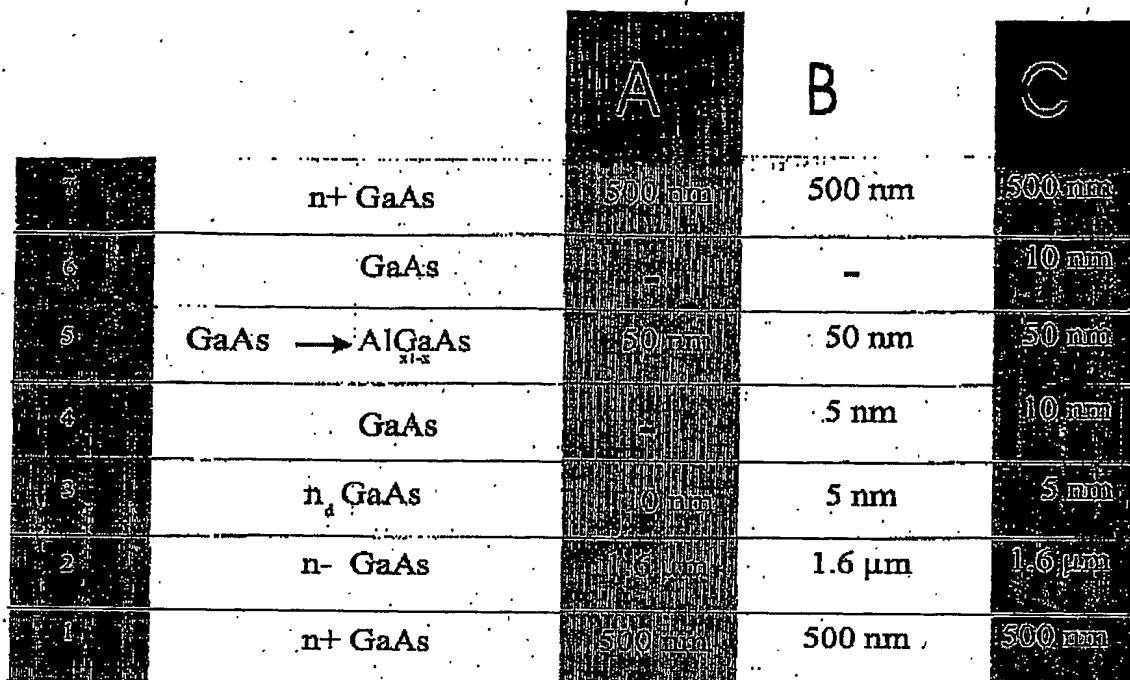


Fig. 1

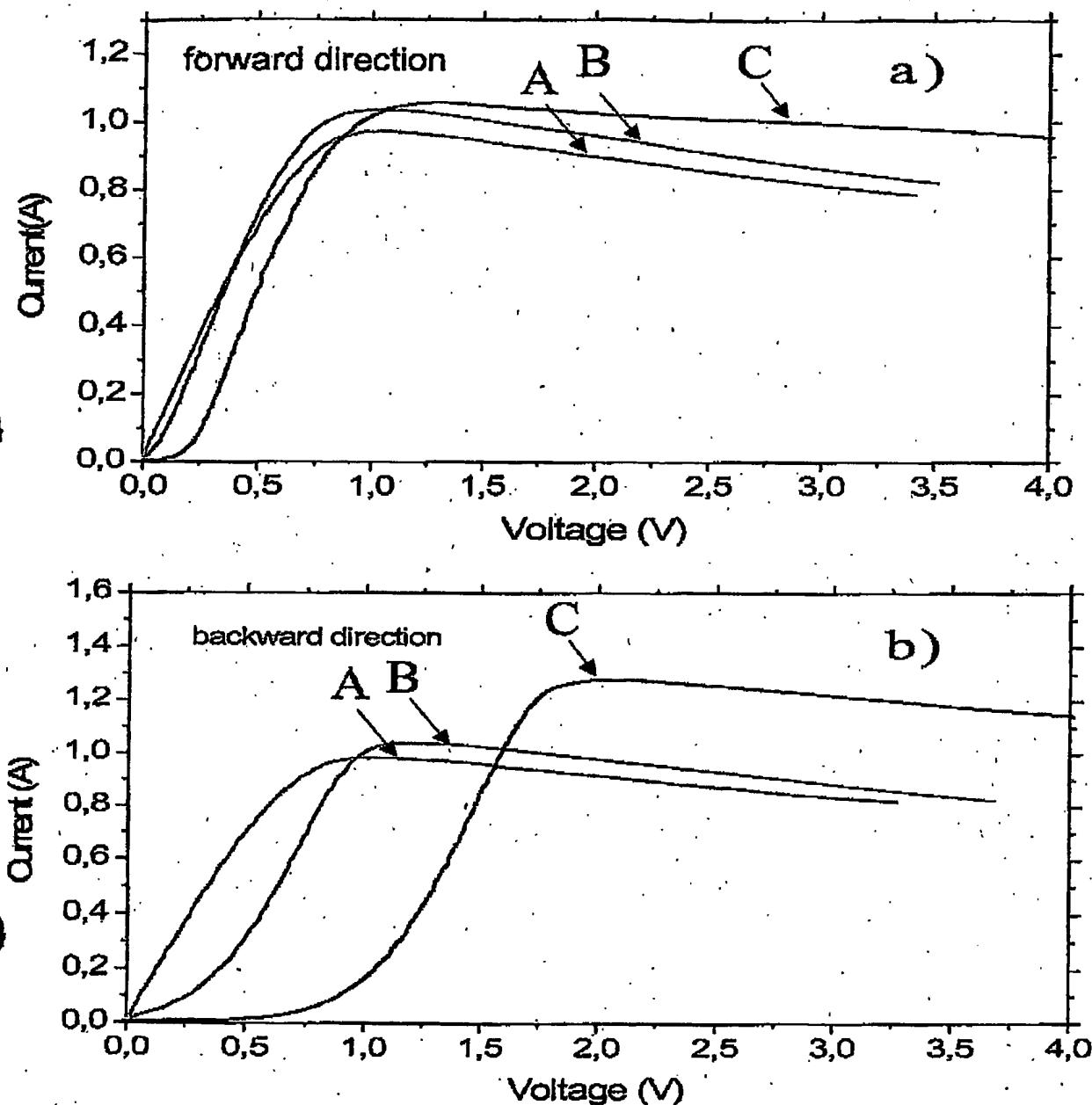


Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.